

# Sp(r)itzentechnik

## Präzise Geräte für den Acker

**Landwirte nutzen Feldspritzen, um Pflanzenschutzmittel und Flüssigdünger auszubringen und damit den Pflanzen gesundes Wachstum zu sichern. Damit die Mittel gezielt auf den Pflanzen ankommen, sind die richtige Technik und das passende Wetter ausschlaggebend. Dazu gehören bei einer Feldspritze v.a. die Düsen und die Mengenregulation. Der Baustein erklärt die spannende Technik und deren Einsatz.**

### SACHINFORMATION

#### Was braucht die Pflanze?

Die Wirkstoffe der Herbizide, Fungizide und Insektizide sowie die Nährstoffe der Flüssigdünger sollen möglichst effizient und bedarfsgerecht mit dem Spritzwasser auf der jeweiligen Zielfläche (Blätter, Stängel oder Boden) ankommen. Die Wasseraufwandmenge variiert je nach Zulassung des Pflanzenschutzmittels zwischen 100 und 400 Liter/Hektar, also deutlich weniger als vor 25 Jahren. Die moderne Landwirtschaft arbeitet nach dem Schadschwellenprinzip und folgt den Vorgaben für Bienen-, Gewässer- und allgemeinen Umwelt- und Anwenderschutz sowie der Resistenzvermeidung. Für eine optimale Wirkung werden auch die Witterungsbedingungen berücksichtigt.

Auch wenn eine Feldspritze im Wesentlichen wie früher aus einem Spritzmitteltank inkl. Rührwerk und Pumpen, Leitungen und einem Spritzbalken mit Düsen besteht, hat sich doch eine ganze Menge geändert. Landwirte nutzen zunehmend Hightech und automatisierte Funktionen bei der Planung und auf dem Feld. GPS und Spurassistenten sind nicht mehr wegzudenken.

#### Spritzentypen im Ackerbau

Man unterscheidet zwischen Selbstfahrern und angebauten bzw. angehängten Feldspritzen, die mit einem Traktor über das Feld bewegt werden. Bei einer Anbauspritze sind Tank und Gestänge direkt am Schlepper montiert. Manche Modelle, teils mit Zusatztank vorne am Traktor, fassen mehr als 3.000 Liter Inhalt, was meist genug Spritzbrühe für ein Feld mit 10 Hektar darstellt. Anbauspritzten sind auf schrägen Flächen wendiger und stabiler zu fahren als ein Schlepper mit Anhänger.

Die meisten Betriebe mit großen Flächen arbeiten hingegen mit angekuppelten Anhängerspritzen, denn sie sind schneller gerüstet und oft leistungsstärker als Anbaumodelle. Mit ihren großen Behältern und Arbeitsbreiten eignen sie sich besonders für Großbetriebe mit festen Fahrspuren und Abläufen. Groß und zugleich flexibel sind Selbstfahrer mit eigenem Motor. Sie besitzen eine hohe Bodenfreiheit von meist einem Meter (z.B. praktisch bei Raps-Blütenspritzung) und eine variable Spurweite. Sie lohnen sich v.a. für Lohnunternehmen und Maschinenringe,

### LERNZIELE UND KOMPETENZEN:

**Fächer:** Erdkunde, Biologie, Mathematik, Physik, Natur und Technik (ab Klasse 9)

Die Schülerinnen und Schüler

- » lesen den Text und erläutern Bauteile einer Feldspritze;
- » lösen Rechenaufgaben zu Aufwandsmengen und weiteren Faktoren;
- » führen einen Versuch zur Zerstäubung von Wasser durch.

die bei diversen Betrieben professionell aushelfen. Je größer die Fläche und je knapper die Zeit ist, umso wichtiger ist die Schlagkraft (Arbeit pro Zeit). Einfach schneller fahren geht nicht (s. unten). Große Arbeitsbreiten bringen mehr Schlagkraft beim selben Tempo. Auch die richtige Tankgröße und der Zeitaufwand zum Nachfüllen spielen eine Rolle. Große Modelle besitzen ein Tankvolumen von bis zu 8.000 Litern und eine Arbeitsbreite von bis zu 36 Metern.

#### Vom Tank zur Düse

Die Spritzbrühe läuft aus dem Tank durch Leitungen zu beiden Seiten entlang des Gestänges zu den Düsen und durch diese nach draußen. Reste laufen zurück in den Spritztank. Pumpen sorgen für den nötigen Druck. Die gesamte Länge des Gestänges unterteilt sich in ausklappbare Teilbreiten (Sektionen) von z.B. drei Metern. Am Gestänge sitzen die Düsen mit je 50 cm Abstand, selten 25 cm. Die Ausleger sind in der Höhe hydraulisch verstellbar. Das geht teilweise automatisch: Ultraschallsensoren erfassen den Abstand zu den Pflanzen und melden ihn der Steuerung, die die Höhe des Auslegers stetig an unebenes Gelände anpasst. Optimal sind 50 cm Abstand.

Zudem können einzelne Teilbreiten automatisch ohne Aussteigen und GPS-gesteuert ausgeschaltet werden. Die Teilbreitenschaltung (Section Control) hilft am Feldrand und bei unregelmäßigen Feldern, bei denen sich Überschneidungen (z.B. in Kurven) nicht verhindern lassen. Das spart Spritzmittel und vermeidet falsche Dosierung. Bei manchen Geräten ist jede Düse einzeln ein-/abzuschalten. Oft sitzen mehrere Düsen zum Wechseln an einem Düsenkörper (vgl. Mikroskop mit mehreren Linsen).

Die Steuerung der Feldspritze erfolgt aus dem Schlepper heraus. Das setzt voraus, dass Schlepper und angehängte Arbeitsgeräte miteinander kom-

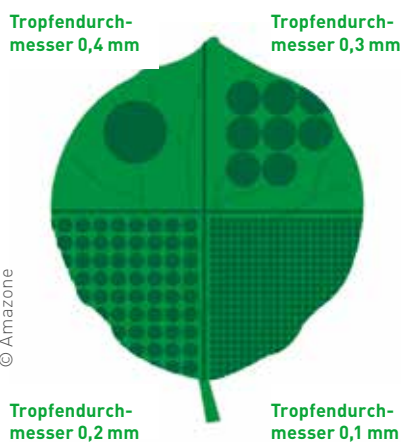


Randdüsen außen an den Spritzgestängen helfen beim Einhalten der Abstandsauflagen und an der Fahrgasse beim Einsparen von Mitteln.

munizieren können (z.B. über ISOBUS oder CANBUS). Die Spritze liefert dem Fahrer kontinuierlich Daten zur Kontrolle und Dokumentation, z.B. erfassen Drucksensoren den Füllstand im Spritzmitteltank. Am Gestänge sitzen zudem spezielle Lampen und hinter der Spritze eine Kamera, die dem Landwirt helfen, den Spritznebel zu beobachten, ob z.B. eine Düse verstopft ist. Damit alles ordentlich arbeitet, werden die Düsen und die ganze Spritze regelmäßig gereinigt und gewartet, wofür es auch Programme gibt.

### Kleines Bauteil – große Wirkung

Die ausgebrachten Mittel können nur optimal wirken, wenn sie gut auf den Zielflächen verteilt sind (Benetzung). Dafür ist die Tropfengröße sehr wichtig. Tropfen zwischen 0,1 und 0,3 Millimeter Durchmesser driften kaum mit dem Wind ab, benetzen die Fläche breitflächig und rollen nicht vom Blatt. Bei dichtem Pflanzenbestand sind große Tropfen besser. Auch die Art des Spritzmittels spielt eine Rolle: Die Hersteller empfehlen bei Herbiziden eher große Tropfen, bei Insektiziden eher eine feine Verteilung.



Dieselbe Wassermenge in vielen kleineren Tropfen (statt einem großen) benetzt viel mehr Oberfläche. Feine Tropfen sind jedoch windanfälliger.

Je nach Situation ist ein anderes Düsenmodell vorteilhaft, denn jede Düse erzeugt je nach Aufbau und Funktionsweise ein anderes Tropfenspektrum und andere Spritzbilder (Winkel, Breite usw.). Es kommen immer wieder neue Düsenmodelle auf den Markt, die z.B. deutlich weniger Abdrift als früher mit gezielter Ährenbenetzung verbinden. Manche Düsen können unterschiedlich steil und breit nach vorne und hinten sprühen und ihren Strahl aufteilen. Damit optimieren sie bei höherem Tempo (über 8 km/h) die Flugbahn der Tropfen und minimieren Spritzschatten.

### DIE WAHL DER RICHTIGEN DÜSE

Dabei geht der Landwirt wie folgt vor: Er schaut, welche Wasseraufwandmenge (l/ha) der Hersteller des Mittels empfiehlt und welches Fahrtempo das Gelände, der Boden und die Kultur zulassen. Daraus ergibt sich der nötige Düsenausstoß, also die Menge pro Zeit (l/min). Je nach gewünschtem Tropfenspektrum empfiehlt der Hersteller eine bestimmte Düse und den erforderlichen Spritzdruck für den richtigen Spritzwinkel. Bei all diesen Schritten helfen eine Wahlscheibe, Tabelle oder App vom Hersteller. Der Landwirt rüstet die Feldspritze entsprechend und testet die Funktion mit reinem Wasser (Auslitern).

Bei höherem Tempo schwingt zudem das Gestänge vor und zurück, was Mengenabweichungen pro Pflanze verursacht. Dagegen entwickeln die Hersteller ausgeklügelte Sensor-, Düsen- und Steuertechnik, die einzelne Düsen in Millisekunden öffnet und schließt und so die Menge anpasst.

### „Digital Farming“

Bei Feldspritzen erweisen sich Sensoren und ihre Daten als hilfreich, um wirksam und umweltschonend zu arbeiten. Gepaart mit Geodaten von früheren Erträgen und Behandlungen (Applikationskarten) helfen sie bei der Mengenregulierung. Ziel ist die teilflächenspezifische Ausbringung, wie sie heute schon bei Stickstoffdüngern und Fungiziden möglich ist. So können z.B. optische Sensoren, die Pflanzen und ihr Blattgrün (Chlorophyll) anhand von Fluoreszenz und Wärmestrahlung aus der Fotosynthese erkennen. Die Forschung arbeitet daran, Nährstoffbedarf, Krankheiten und Unkräuter/-gräser zu erkennen und dann gezielt das Feld nur dort zu behandeln.

Die Zukunft bringt viele weitere Möglichkeiten, Feldarbeiten zu optimieren: mit Blick auf mehr Ertrag, Betriebskosten und Effizienz, Anwendungsschutz und Umweltschutz. Natürlich liegt es weiterhin am Landwirt, seiner Erfahrung und seinen Entscheidungen, welche Technik und Mittel er wie einsetzt.



Je nach Situation auf dem Feld werden am Gestänge ganz unterschiedliche Düsen montiert, teils auch Rohre oder Schläuche für die Unterblattspritzung oder Bodenausbringung.

### METHODISCH-DIDAKTISCHE ANREGUNGEN

Das Thema passt gut als Exkurs in verschiedenen Fächern, z.B. auch in Physik, wenn es um optische Geräte, Steuer-/Regeltechnik, Digitalisierung oder um Bewegungsenergie geht. Zum Einstieg sammelt die Klassen ihre Assoziationen zum Thema Feldspritze auf einem Plakat. Die SchülerInnen der höheren Klassen lesen und erarbeiten sich danach den anspruchsvollen Sachinfo-Text selbst. Er dient ihnen als Basis, um die wichtigsten Eigenschaften moderner Feldspritzen anhand von Fotos auf **Arbeitsblatt 1** zu beschreiben. Mit den Rechenaufgaben auf **Arbeitsblatt 2** und dem Versuch auf der **Sammelkarte** können sie konkret nachvollziehen, wie sich Faktoren auf das Spritzbild auswirken. Am Ende gleichen sie ihr neues Wissen mit ihrem bisherigen Bild ab: Was hat sie besonders überrascht?

### LINK- UND MATERIALTIPPS

- » Anknüpfende Materialien in Heft 5 (GPS auf Acker), 29–31 (Pflanzenschutz), 2 und 16 (Pflanzenernährung), 10 (Ressourcenschutz) und 26 (Multikopter) unter [ima-lehrermagazin.de](http://ima-lehrermagazin.de)
- » Materialien zu ISOBUS, GPS und Sensoren in Düngerstreuern in Unterrichtsmappe „Landtechnik“ des VDMA e.V., z.B. Kapitel „Physik/Technik I“, unter [ima-shop.de](http://ima-shop.de)
- » [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de) → „Feldspritze“
- » Studie zum technischen Stand deutscher Landwirte unter [www.boeckler.de/pdf/p\\_fofoe\\_WP\\_052\\_2017.pdf](http://www.boeckler.de/pdf/p_fofoe_WP_052_2017.pdf)
- » Videos bei YouTube, z.B. „#FARM TO FUTURE Digital Farmmanagement“ und „Erntehelfer aus dem All“



# Was macht die Spritze spitze?

① Lies den Text und schreibe zu jedem Foto, warum die dargestellte Technik die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln und Blattdüngern genauer und effizienter macht.

Düsen	GPS-Steuerung	Section Control	Fernsteuerung von z. B. Düsen aus Cockpit
			
weniger Abdrift, Mittelleinsparung ...	Spurassistent, Geodaten	weniger Spritzfehler, Abdrift	weniger Handarbeit, Zeitersparnis

Beleuchtung an Gestänge und Kamera	Ultraschallsensor für hydraulische Höhenanpassung	Apps zur Maßnahmenplanung	Wartungs- und Reinigungsprogramme
			
bessere Kontrolle, Funktion Düsen	optimaler Abstand zu Pflanzen für optimales Spritzbild	Ausbringung in günstigen Zeitfenstern für optimale Wirkung	für Arbeitserleichterung und Vermeidung von Fehlern

② Begründe in wenigen Sätzen, warum eine effiziente Ausbringung wichtig ist.

---



---



---



---

# Wertvolle Tropfen

Die Flüssigkeit, die mit der Feldspritze auf den Pflanzen versprüht wird, heißt Spritzbrühe. Sie ist eine wässrige Lösung der Nährstoffe (Flüssigdünger) und/oder der Wirkstoffe (Pflanzenschutzmittel). Das Wasser ist ihr Transportmedium. Bei der Ausbringung spielen viele Faktoren eine Rolle. Berechne die folgenden Beispiele in deinem Heft und erfahre, warum.

## ① Im Spritzwassertank

Der Landwirt füllt 3.000 Liter Wasser in seine Spritze und rührt 1 Liter eines Pflanzenschutzmittels ein. Das Mittel enthält 50 Gramm Wirkstoff pro Liter. Der Hersteller empfiehlt eine Aufwandmenge von 300 l/ha.

- a) Für wie viele Hektar reicht der Inhalt des Tanks?  $3.000 \text{ l} : 300 \text{ l/ha} = 10 \text{ ha}$   
 b) Wie viel Gramm Wirkstoff stecken in einem Liter Spritzbrühe?  $50 \text{ g/l} : 3.000 \text{ l} = 0,016 \text{ g} = 16,6 \text{ mg}$   
 c) Wie viele Liter Spritzbrühe landen auf einem Quadratmeter Feld/Pflanzen?  $300 \text{ l/ha} : 10.000 \text{ m}^2 = 0,03 \text{ l}$   
 d) Wie viel Gramm Wirkstoff landen auf einem Quadratmeter Feld/Pflanzen?  $0,03 \text{ l} \times 16,6 \text{ mg} = 0,5 \text{ mg}$

## ② Arbeitsbreite

Hilfe:  $1 \text{ ha} = 10.000 \text{ qm} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$

Das zu behandelnde Feld ist etwa 400 Meter lang und etwa 250 Meter breit. Der Betrieb besitzt zwei Feldspritzen: eine mit einer Arbeitsbreite von 18 Metern, eine mit einer Arbeitsbreite von 24 Metern. Wie oft müssen die größere bzw. die kleinere Feldspritze längs über das Feld fahren, um alle Pflanzen zu behandeln?  $250 \text{ m} : 18 \text{ m} = 14 \text{ Bahnen (minimale Überschneidung)}$ ;  $250 \text{ m} : 24 \text{ m} = 10 \text{ Bahnen und } 10 \text{ Meter übrig}$

## ③ Düsen und Aufwandmenge

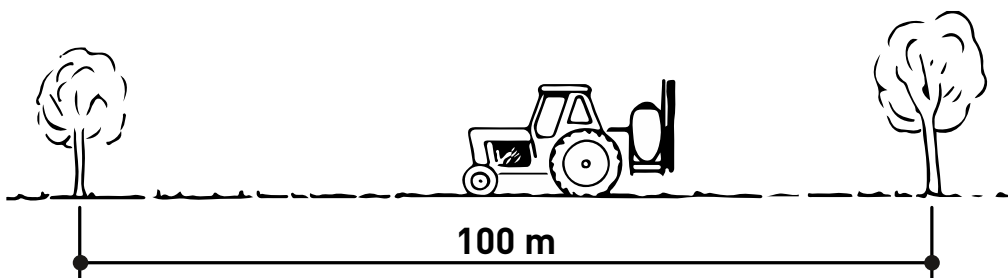
Die Düsen beeinflussen die ausgebrachte Menge pro Fläche (Aufwandmenge). Am Gestänge sitzt alle 50 cm eine Düse. Wenn auf  $1 \text{ m}^2$  30 ml Spritzbrühe kommen sollen, welche Menge soll dann pro Meter Fahrtweg aus jeder Düse kommen?  $1 \text{ m Breite} : 0,5 \text{ m Düsenabstand} = 2 \text{ Düsen} \rightarrow 30 \text{ ml} : 2 = 15 \text{ ml}$

## ④ Fahrgeschwindigkeit

Sie beeinflusst den Winkel, in dem die Tropfen auf die Pflanzen treffen, und die dort ankommende Menge. Der Landwirt soll z. B. 300 l/ha ausbringen. Aus seiner ausgewählten Düsengröße fließen bei 2 bar Druck 1,3 l/Min. Laut Tabelle bzw. App erreicht der Landwirt die 300 l/ha, wenn er genau 5,2 km/h fährt.

- a) Rechne das Tempo in m/Sek. um.  $5.200 \text{ m} : 3.600 \text{ Sek.} = 1,44 \text{ m/Sek.}$   
 b) Wenn die Ausbringmenge kleiner sein soll, muss der Schlepper dann schneller oder langsamer fahren? Berechne das Tempo für 200 l/ha.  $\text{schneller. } 1,44 \text{ m/Sek.} \times (300 : 200) = 2,16 \text{ m/Sek.}$

Quelle: AgroConcept nach Hardi



### ABWEICHUNGEN VERMEIDEN:

Wind prüfen: Ideales Spritzwetter ist bei Windgeschwindigkeiten von unter 4 m/Sek. Bei über 6 m/Sek. (waagerechte Windhose) ist das Spritzen nur mit Spezialausrüstung erlaubt. Gegen Abdrift helfen z. B. große Düsen, geringer Druck, langsame Fahrt und niedriges Gestänge nah über den Pflanzen.  
 Spritze prüfen: Damit die Spritze auch genau so arbeitet, wie sie eingestellt wird, kontrolliert der Landwirt die Funktion und Mengen mit reinem Wasser vor jeder Nutzung (Auslitern) und reinigt das Gerät während/nach jeder Nutzung.

## Zum Unterrichtsbaustein „Sp(r)itzentechnik – Präzise Geräte für den Acker“

### Auszug aus dem Unterrichtsmaterial

„Landtechnik – Nachhaltige und Intelligente Technologien im modernen Ackerbau“; Kapitel Physik/Technik I  
(herausgegeben vom VDMA Landtechnik in Zusammenarbeit mit der Klett MINT GmbH)

### Inhaltsverzeichnis:

- |                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| » Der Traktor                         | Seite 24–27 |
| » Precision Farming mit Sensortechnik | Seite 28–32 |
| » Lösungen Physik/Technik I           | Seite 33    |



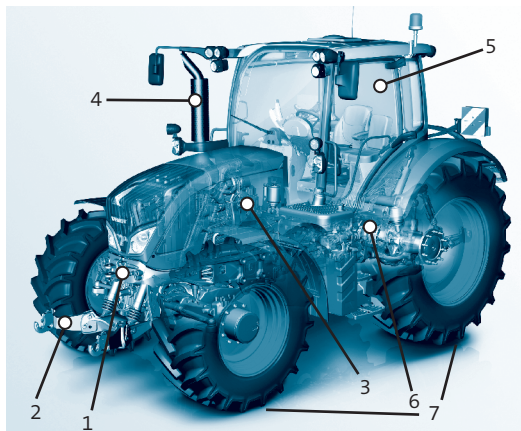
Das gesamte Heft kann kostenfrei über den i.m.a-Webshop unter [www.ima-shop.de](http://www.ima-shop.de) bestellt werden.



## Der Traktor

Wenn Landwirte über ihren Porsche, Lamborghini oder Ferrari reden, dann meinen sie in der Regel ihren Traktor. Kein anderes Gerät auf dem Hof erhält so viel Pflege. Dabei ist der Traktor streng genommen nur ein Auto mit besonderen Fähigkeiten. Aber gerade diese zeichnen ihn aus.

- 1 Frontzapfwelle
- 2 hydraulisches Fronthubwerk
- 3 Motor
- 4 Auspuff
- 5 Fahrerkabine
- 6 Getriebe
- 7 Räder



Übersicht eines Traktors

### Reifen

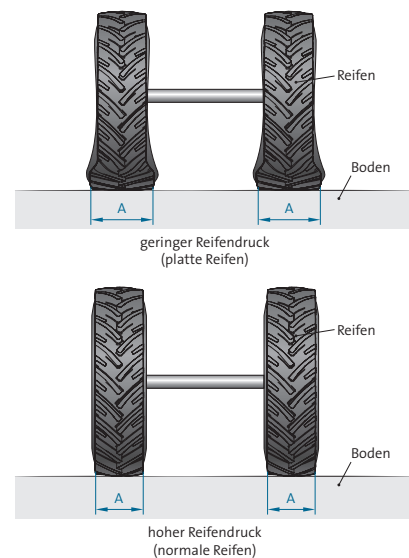
Die Reifen eines Traktors sind wesentlich größer als die eines Pkw, die Vorderreifen deutlich kleiner als die Hinterreifen. Das hat vor allem drei Gründe:

- Im Gelände soll der Traktor nicht steckenbleiben, wenn die Erde feucht und schlammig ist. Je größer der Reifen ist, desto geringer ist diese Gefahr.
- Der Traktor muss schwere Lasten ziehen können, dafür muss der Reifen ein entsprechendes Profil haben.

**Fan-Clubs**  
Traktoren haben viele Fans – es gibt sogar etliche Fan-Clubs. Informiere dich! Auch in deiner Nähe gibt es einen örtlichen Traktoren-Verein, der sich über einen Besuch freut.

- Je größer der Reifen ist, desto besser verteilt sich die Last des Traktors auf den Boden, der Boden wird weniger verdichtet.

Die **Bodenverdichtung** soll möglichst gering gehalten werden. Je mehr Fläche ein Reifen auf dem Boden belegt (Reifenauflandsfläche), desto geringer ist der Druck auf den Boden. Um diesen Effekt noch zu verstärken, kann der Landwirt auf dem Acker Luft aus dem Reifen lassen, dieser wird dann platter und die Auflagefläche wird größer.



Auflagefläche der Reifen

Auf der Straße ist das aber hinderlich. Da sollte ein Reifen möglichst wenig Auflagefläche besitzen, damit Sprit gespart und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduziert werden kann. Moderne Traktoren haben deswegen **Reifendruckregler**, die dies automatisch übernehmen: Auf dem Acker wird Luft aus dem Reifen gelassen. Sobald der Traktor wieder auf einer Straße ist, wird selbstständig Luft nachgepumpt. Bei Rennrädern und Mountainbikes siehst du das gleiche Phänomen: Je schmaler ein Reifen ist, desto weniger Kraft braucht man auf geraden Strecken, um fahren zu können. Je breiter, desto mehr Halt hat er im Gelände.

Angetrieben wird der Traktor nur durch die Hinterräder. Sie sind meistens 1,2–1,8 m hoch. Die Vorderräder sind zum Lenken und kleiner, damit der Wendekreis klein bleibt. Größere

## BODENVERDICHTUNG

Unter der Bodenverdichtung versteht man das Zusammendrücken der Erdschichten. Dadurch werden z. B. Gänge von Regenwürmern zgedrückt und das Regenwasser kann nicht so gut in die Erde einsickern. Eine Verringerung der Bodenverdichtung ist also gut für den Acker.

Traktoren benötigen den Allradantrieb. Ganz große Traktoren haben gleichgroße Räder und eine Knicklenkung. Dadurch können sie bei geringem Wendekreis die Last besser auf vier Räder verteilen, was im Gelände einen deutlichen Vorteil darstellt.

### Getriebe

Wer in einem Traktor sitzt und fahren möchte, wird sofort merken, dass ein Traktor über wesentlich mehr Gänge verfügt als ein Pkw. Der Grund ist naheliegend: Ein Traktor muss in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen flexibel regelbar sein. Für den Alltag sind vier Geschwindigkeitsbereiche wichtig:

- 20–300 m/h (Gemüse- oder Erdbeeranbau)
- 3–10 km/h (Ernte- und Düngefahrten)
- 11–20 km/h (leichte Bodenbearbeitungen)
- >20 km/h (Transportfahrten)

Nicht selten hat ein Traktor dadurch mehrere Ganghebel und häufig (vor allem ältere Modelle) auch einen Handgashebel. Der Handgashebel lässt sich fixieren und somit muss man nicht ständig den Fuß auf dem Gaspedal halten. Die Spannbreite reicht von 8 Vor- und 4 Rückwärtsgängen bis zu 72 Vor- und Rückwärtsgängen. Die neueste Entwicklung ist ein stufenloses Getriebe. Hier gibt es keine Kupplungsvorgänge mehr und der Traktor fährt immer im Leistungsoptimum mit dem geringsten Verbrauch.

### Motor

In Traktoren werden ausschließlich robuste Diesel-Motoren verwendet. Ein durchschnittlicher Traktor ist ca. 1.000 Stunden pro Jahr im Einsatz – ein durchschnittlicher PKW 200–300 Stunden. Deshalb ist es wichtig, dass Motoren langlebig und umweltfreundlich sind.

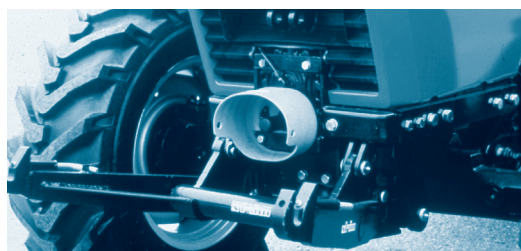
### Verwendung

Der Name Traktor kommt wohl aus dem lateinischen „trahere“, was „ziehen“ bedeutet. Damit

ist auch die ursprüngliche Hauptaufgabe des Traktors beschrieben: das Ziehen von Lasten. Im Lauf der Zeit sind aber weitere Fähigkeiten hinzugekommen, sodass ein Traktor neben dem Ziehen heute als zweite Hauptaufgabe das Bereitstellen von Energie auf dem Feld hat. Man kann sich einen modernen Traktor auch als „Küchenmaschine auf dem Feld“ vorstellen: Dank verschiedener Anschlüsse und vielfältigem Zusatzbehör gibt es kaum noch eine Aufgabe, die ein Traktor nicht erleichtern kann.

### Mechanische Energie

Die Zapfwellen liefern mechanische Energie. Dabei handelt es sich um eine drehende Welle. Diese Drehung kann vielfältig aufgenommen und weitergereicht werden z. B. für Kipper, Bodenfräse, Kreiselegge, Düngerstreuer, Pflanzenschutzspritze, Stallmist- und Kompoststreuer. Typisch sind zwei Zapfwellen an einem Traktor: eine Frontzapfwelle und eine Heckzapfwelle. Diese sind in der Regel über eine Kurbelwelle mit dem Motor verbunden und funktionieren nur, wenn auch der Motor des Traktors läuft.



Frontzapfwelle eines modernen Traktors

### Hydraulische Energie

Eine Hydraulikpumpe des Traktors kann genutzt werden, um Motoren und Ventile von angeschlossenen Geräten zu betreiben, z. B. für Bodenfräse, Kreiselegge, Düngerstreuer, Pflanzenschutzspritze, Stallmist- und Kompoststreuer. Seit den 1960er-Jahren haben sich die Dreipunkt-Kraftheber (auch Dreipunkthydraulik genannt) am Traktor durchgesetzt. Es handelt sich hierbei um eine genormte Vorrichtung, um Arbeitsgeräte oder andere Zubehörteile an den Traktor anzukuppeln und anzuheben.

### Führerschein L

Wird der Traktor ausschließlich auf Landstraßen und dem Feld genutzt, ist es möglich, bereits mit 16 Jahren den entsprechenden Führerschein (Klasse L) zu erwerben.

### Kuh-Pediküre?

Dank der Hydraulikpumpe hat ein Landwirt z. B. die Möglichkeit, eine Kuh auf der Wiese auf eine Kuh-Hebebühne zu bugsieren und so ihre Füße zu untersuchen.

### Elektrische Energie und ISOBUS

Aktuelle Traktoren verfügen zusätzlich über Stromanschlüsse für Beleuchtung und elektrische Antriebe. Dazu kommen immer häufiger auch **Anschlüsse für Datenübertragung** der angehängten bzw. angebauten Arbeitsgeräte. Dieser Anschluss heißt ISOBUS. Er ist ein normierter Anschluss, über den man Daten empfangen und am Terminal des Traktors darstellen kann. Dank der Normierung können nahezu alle Geräte von verschiedenen Herstellern an einen Traktor angeschlossen werden. So kann der Landwirt während der Fahrt viele Informationen abrufen und unmittelbar auf Veränderungen reagieren, wenn z. B. der Düngerstreuer meldet, dass eine Leitung verstopft ist oder die Kartoffellegemaschine, dass nur noch 100 kg Saatkartoffeln zur Verfügung stehen.

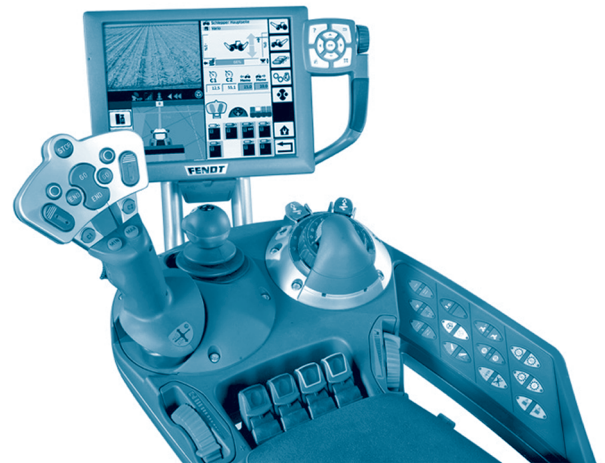


ISOBUS



Der ISOBUS ist die Datenzentrale eines Traktors

Heutige Traktoren sind ausgestattet wie ein Oberklasse-Pkw und haben jede Menge Elektronik an Bord, z. B. ein GPS-Modul, um die exakte Position des Traktors zu ermitteln. Alle Informationen werden in einem Fahrerterminal dargestellt.



Fahrerterminal. Unter [http://www.fendt.com/de/traktoren\\_fendtvariatic\\_multimedialerleben.asp](http://www.fendt.com/de/traktoren_fendtvariatic_multimedialerleben.asp) kannst du die Simulation eines Terminals erleben.

Hier kann der Landwirt online auf alle wichtigen Informationen zugreifen. Dank des ISOBUS kann er alle mit dem Traktor genutzten Geräte über dieses eine Terminal verwalten und muss nicht für jedes Gerät ein eigenes Terminal in der Fahrerkabine installieren. Im Zuge des Precision Farming müssen die Daten nicht nur angezeigt, sondern auch gespeichert werden. Übertragen werden die Daten dann entweder online über das Mobilfunknetz, während der Traktor auf dem Feld ist, oder nach der Fahrt über Bluetooth an den PC des Landwirts, an dem die vollständige Auswertung durch entsprechende Agrarmanagement-Software durchgeführt wird.

Neben dem Standard-Traktor gibt es heute eine Vielzahl an Traktoren, die für spezielle Anforderungen gebaut werden, z. B. für den Straßenbau, die Forstwirtschaft, den Weinbau oder das Gebirge. Somit bleibt der Traktor der Dreh- und Angelpunkt der Landtechnik – auch im 21. Jahrhundert.

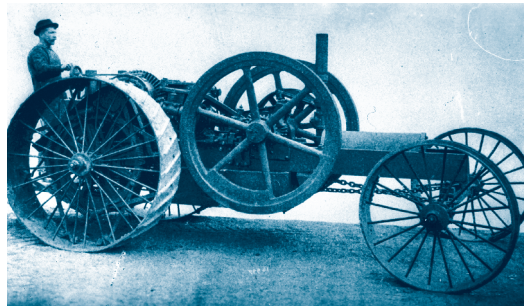
## HIGHTECH-WUNDER TRAKTOR

Ohne Elektronik läuft in einem modernen Traktor gar nichts mehr. Darum suchen Landmaschinenhersteller zunehmend Ingenieure und Entwickler, die sich mit Fahrzeugelektronik auskennen. Ein spannendes Berufsfeld mit guten Zukunftsaussichten. Während die Elektrikentwickler CAD-gestützt den Einbau von Steuergeräten und anderen Komponenten wie Lampen konstruieren, konzentrieren sich die Softwareentwickler auf die Softwaresteuerungen. In einem Schlepper finden sich etwa 20 unterschiedliche, komplexe Steuerungen.



## Arbeitsaufträge

1. Benenne die wichtigsten Bauteile eines Traktors.
2. Betrachte die drei Traktoren aus den verschiedenen Zeiten. Was fällt dir auf? Welche „Eigenschaften“ sind gleich geblieben, was hat sich verändert?
3. Warum verwendet man bei besonders schützenswerten Böden Traktoren mit Gummiraupenantrieb (ähnlich einem Panzer)?
4. Früher wurden die Pflüge von Pferden oder Rindern gezogen, heute von Traktoren. Wer verdichtet den Boden stärker? Pferd: Gewicht ca. 700 kg, Auftrittsfläche pro Huf: ca. 15 cm<sup>2</sup>. Traktor: Gewicht ca. 2.200 kg, Auftrittsfläche pro Reifen (gemittelt): 1.500 cm<sup>2</sup>
5. Es gibt eine Merkregel für das Verhältnis von Reifendruck und Aufstandsfläche: Verdoppelt man den Reifeninnendruck, halbiert sich etwa die Aufstandsfläche. Wie viele Traktoren müsste man aufeinander stapeln, um die gleiche Bodenverdichtung zu erhalten, die durch ein Pferd verursacht wird, wenn der „unterste“ Traktor seinen Reifendruck halbiert?
6. Früher zogen üblicherweise zwei Pferde einen Pflug. Die „Pferdestärke“ ist bis heute als Maß für Leistung ein Begriff und geht auf die Leistung zurück, die ein Pferd über viele Stunden hinweg leisten kann. Ein moderner Traktor der mittleren Leistungsklasse hat ca. 90 kW (1 PS = 0,74 kW). Wie viele Pferde müsste man vor den Pflug spannen, um die gleiche Leistung zu erhalten. Wie lang wäre dann dieses Gespann? Wäre das im Alltag sinnvoll?
7. Der Auspuff eines Traktors ist nicht wie bei einem Pkw angebracht. Warum?
8. Warum sind die Vorderräder kleiner?
9. Welchen Vorteil hat ein Handgashebel gegenüber einem Fußgashebel auf dem Feld?



10. Warum finden sich nur Diesel-Motoren bei Traktoren? Informiere dich über die Vorteile des Diesel-Motors gegenüber einem Benzin-Motor und erkläre damit die Frage.

## Precision Farming mit Sensortechnik

**Beispiel für eine Bauernregel**  
„Wie das Wetter zu Kassian, hält es noch viele Tage an.“  
Kassian ist am 13. August.

Mit Bauernregeln hat der Landwirt jahrhundertlang versucht, das zukünftige Wetter vorherzusagen und so frühzeitig planen zu können, um optimalen Ertrag zu erzielen. Heute reichen diese Weisheiten leider nicht mehr aus, um den maximalen Ertrag aus dem eigenen Acker (Schlag) herauszuholen. Mithilfe modernster Technik arbeitet die Landwirtschaft nicht mehr allein nach allgemeinen Regeln und Durchschnittserfahrungen für eine Region, sondern ermöglicht optimale Bedingungen für jeden einzelnen Quadratmeter eines Ackers.

### Analyse

Um jeden einzelnen Quadratmeter optimal bearbeiten zu können, muss zunächst der Ist-Zustand des Schlags festgehalten werden. Dazu wird als erstes der Acker genau vermessen. Anschließend werden an geeigneten Stellen Bodenproben entnommen und ausgewertet.

Die **Bodenproben** werden vollautomatisch gezogen. Dabei können heutige Geräte bei einer Bohrung bis zu drei unterschiedliche Schichten getrennt aufnehmen. So können vor Ort Nitratstickstoff- und Ammoniumstickstoff-Analysen durchgeführt werden. Sie geben Auskunft über die Qualität der Erde.



Die Aufnahme von Bodenproben kann komplett aus dem Cockpit des Traktors gesteuert werden

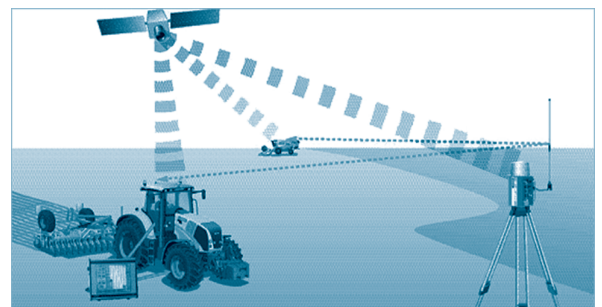
Die Vermessung mithilfe von GPS ist auf ca. 10m genau. Für heutige Zwecke in der Landwirtschaft viel zu ungenau. Deswegen verwendet man in der Landtechnik erweiterte Systeme:

- **EGNOS.** Die Daten von GPS (USA) und GLO-NASS (Russland) werden mit einer deutschen Referenzstation bei Berlin verglichen und korrigiert (nach dem DGPS-Verfahren). Es ist bis auf unter 1 m genau.
- **OmniSTAR.** Ähnlich wie EGNOS verwendet es Referenzstationen. Davon hat es in Deutschland aber wesentlich mehr und ist dadurch bis auf 5 cm genau.
- **RTK-Stationen.** Bei RTK wird auf dem Feld oder am Bauernhof eine eigene, kleine Referenzstation mit feststehenden Koordinaten verwendet. So erreicht man eine Genauigkeit von bis zu 2 cm.

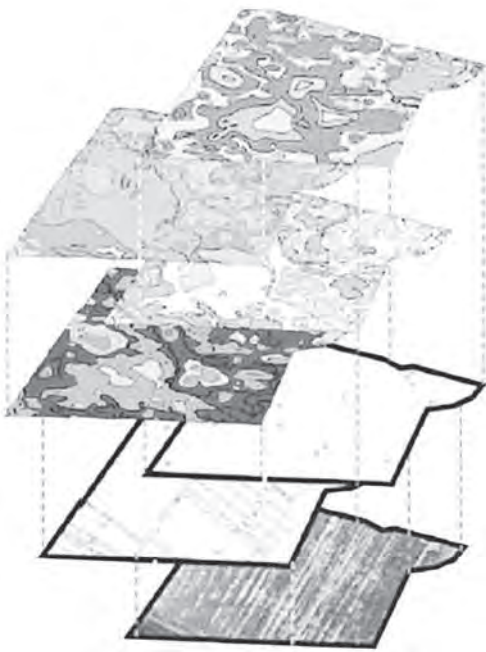
Neben den Messungen werden auch das jahrelange Standortwissen und die Erfahrungswerte bei der Erstellung einer

### GPS

Unter GPS versteht man die genaue Ortsbestimmung mithilfe von Satelliten im Weltall. Es steht für Global Positioning System und ist eines von vielen heute verfügbaren Systemen. GPS Navstar wurde vom Militär der USA entwickelt. Der Begriff hat sich als allgemeine Bezeichnung für satellitengestützte Ortsbestimmung durchgesetzt, obwohl der Begriff GNSS (Global Navigation and Satellite Systems) richtiger wäre.



Der Traktor empfängt das GPS-Signal und das Korrektursignal der RTK-Station. Aus diesen beiden wird die tatsächliche Position bestimmt.

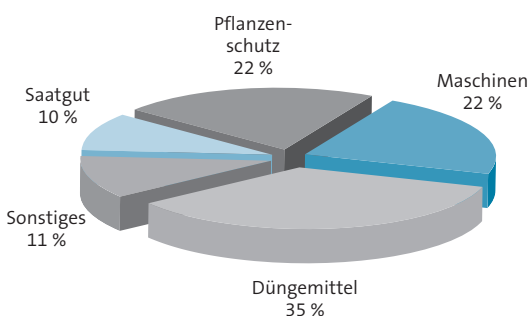


Applikationskarten enthalten alle Informationen eines Schlags: Bodenprobenergebnisse, Ertragskarten, Satellitenbilder, Dünge- und Aussaatinformationen

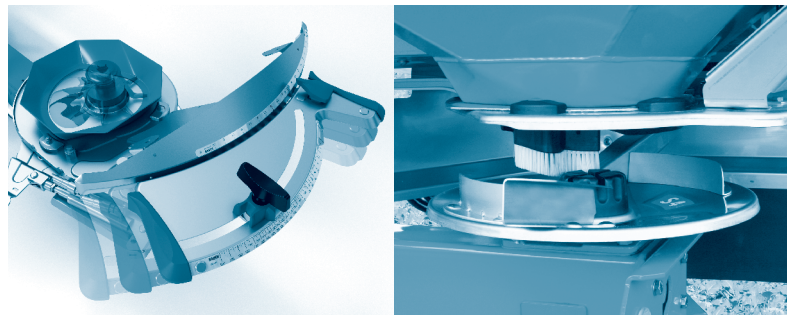
Applikationskarte verwendet. Darin werden alle Informationen des Schlags gesammelt: Bodenprobenergebnisse, Ertragskarten, Satellitenbilder, Dünge- und Aussaatinformationen.

### Düngung

Eine Hauptaufgabe für das Precision Farming ist die punktgenaue Düngung. Bei einer Düngung von Hand entscheidet zum Teil der Zufall, welche Pflanzen wie viel Dünger abbekommen, abhängig vom Wind, der Kraft des Landwirts und der Streumenge in der Hand. Im Zuge der ersten Mechanisierung kam dann das Problem auf, dass oft zu viel Dünger



Kostenverteilung eines Betriebs

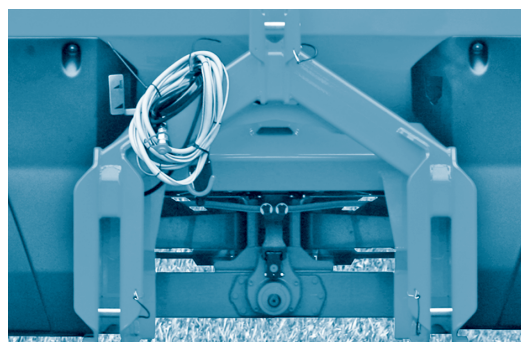


Die Verlagerung des Aufgabepunktes erhöht die Arbeitsbreite. Eine Abschirmung verhindert unkontrolliertes Abprallen des Düngers.

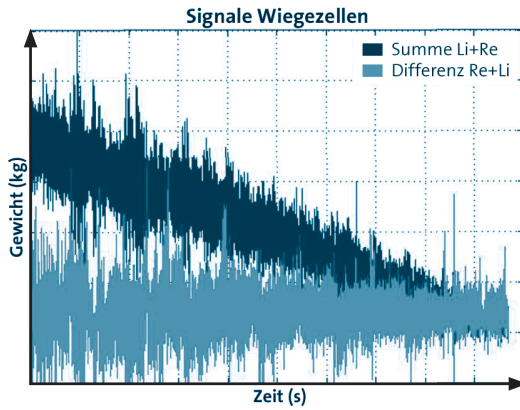
auf das Feld ausgebracht worden ist. Das ist ein **Umwelt- und Kostenproblem**. Düngemittel machen heute den Hauptkostenpunkt der Feldlandwirtschaft aus. Ziel beim Precision Farming ist folglich, jeden Quadratmeter nur mit genau der nötigen Menge an Dünger zu versorgen.

### Doppelscheiben-Düngung

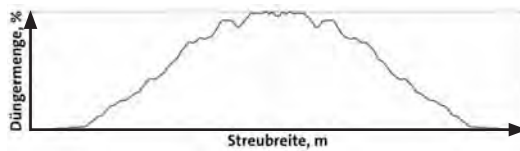
Die klassische Form des Düngens erfolgt mit einem Scheiben-Streuer. Das Prinzip ist leicht zu verstehen: Der Dünger in Form von Granulat fällt aus dem Behälter auf eine kreisrunde Scheibe. Durch deren Rotation wird das Granulat weggeschleudert (Streuscheibe).



Zwei Wiegezellen im Unterlenker erfassen das Gewicht des Düngers



Messungen der Wiegezellen: Summe und Differenz der Messungen



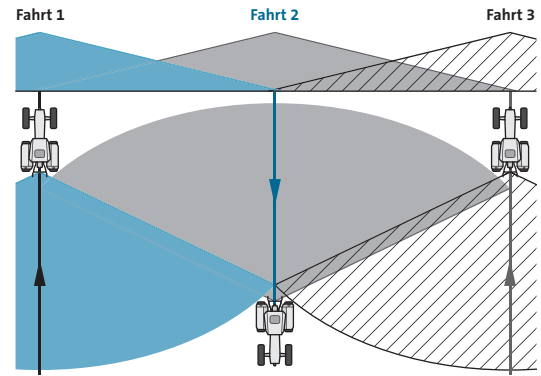
Streubild des Doppelscheiben-Streuers

Je schneller die Streuscheibe rotiert, desto weiter fliegt der Dünger. Je weiter außen auf der Drehscheibe der Dünger fällt, desto weiter fliegt er. Drei Faktoren beeinflussen bei diesem System maßgeblich, wie viel Dünger schließlich auf dem Feld landet:

- die Geschwindigkeit des Traktors
- die Rotationsgeschwindigkeit der Scheiben
- die Menge an Granulat, das auf die Scheiben fällt

Moderne Doppelscheiben-Streuer haben alle Faktoren durch Sensoren im Blick und können somit punktgenau düngen. Zwei Wiegezellen messen 100-mal in der Sekunde das Gewicht der gesamten Ladung. Durch Summen- und Differenzbildung der Messergebnisse kann so der genaue Massenverlust bestimmt werden und dadurch die Menge an Dünger, die auf dem Feld landet. Aus Erfahrungswerten kann nun so für jeden Dünger bei entsprechender Fahrgeschwindigkeit angegeben werden, wie viel Dünger aktuell gestreut wird und wie weit er fliegt.

Die Düngerverteilung eines Streuers ist nicht gleichmäßig. Je weiter weg vom Streuer eine

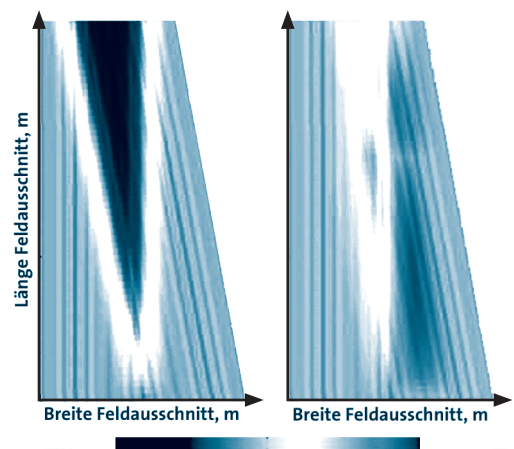


Verteilung mehrerer Fahrten

Pflanze ist, desto weniger Düngemittel bekommt sie. Das Streubild ist senkrecht zur Fahrtrichtung ungefähr dreiecksförmig (siehe Grafik).

Um eine optimale und gleichmäßige Verteilung zu erreichen, finden die Fahrten in einem Abstand von ca. 24 m statt. Dabei überlappen sich die Streubilder so, dass alle Pflanzen die gleiche Menge an Dünger erhalten.

Diese Verteilung ist nicht auf dem gesamten Feld möglich. Am Rand, vor allem aber bei Feldern, die nicht rechteckig sind, kommt es bei diesem Verfahren in manchen Feldbereichen zur **Über- und Unterversorgung**. Aber auch hier hilft modernste Technik. Wurde das Feld vorher richtig vermessen, kann der Streuer dank GPS genau berechnen, an welchen Stellen des Feldes er die Scheibenstreuer ein- und ausschaltet oder mit welchem Drehmoment die Scheiben betrieben werden.



Vergleich einer Düngung ohne Berechnung mit GPS (links) und mit GPS-Berechnung (rechts)

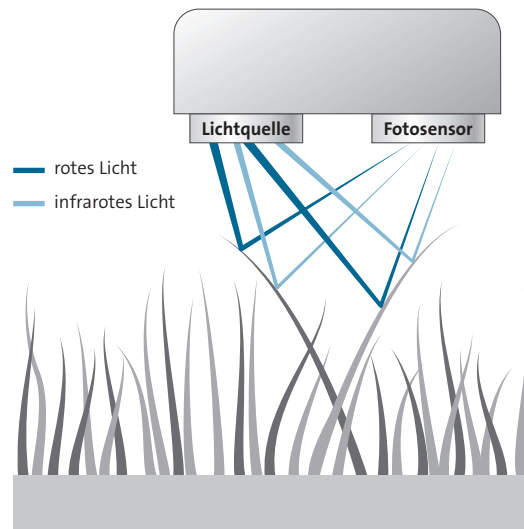
**Immer weiter optimieren**  
Am PC kann vor der Fahrt die optimale Überfahrtstrecke berechnet werden. So wird eine gleichmäßige Düngung in minimaler Zeit und geringstem Spritverbrauch bestimmt.

Kombiniert man alle heutigen Möglichkeiten, ergibt sich folgendes Vorgehen: Durch die Kartierung und die Messergebnisse wird für jeden Quadratmeter Feld die notwendige Düngermenge bestimmt. Der Streuer ist durch den ISOBUS mit dem Traktor verbunden und übergibt die aktuell notwendige Geschwindigkeit an den Traktor. Der Streuer bestimmt den Zeitpunkt der Wende, er steuert die Drehgeschwindigkeit der Doppelscheiben und regelt, wie viel Dünger auf die Drehscheiben fallen.

### Sensorgebundene Düngung

Stickstoff ist besonders wichtig für eine Pflanze. Um optimal düngen zu können, ist die Kenntnis des Stickstoffgehalts der Pflanze von Vorteil. Er gibt Rückschlüsse auf Wuchs und Gesundheitszustand. Bei der sensorgebundenen Düngung wird durch einen Anbau vorne am Traktor der aktuelle Stickstoffgehalt mithilfe von optischen Sensoren gemessen und hinten sofort entsprechend gedüngt.

Da der **Stickstoffgehalt einer Pflanze** nicht direkt messbar ist, verwendet man einen Trick. Man misst die Blattfarbe oder genauer gesagt, wie sehr eine Pflanze zwei bestimmte Farben (Rot und Nahinfrarot) reflektiert. Aus diesen Informationen kann man auf den Stickstoffgehalt schließen, da Stickstoff ein



Die Blattfarbe ist vom Stickstoffgehalt der Pflanze abhängig. Und sie kann mithilfe von zwei verschiedenen roten Lichtquellen gemessen werden.

Baustein von Chlorophyll ist und maßgeblich für die Farbe der Blätter.

Der Sensor ist so aufgebaut, dass aus einer eigenen Lichtquelle Licht unterschiedlicher Wellenlänge auf die Pflanzen trifft. Diese reflektieren das Licht, welches vom Sensor wieder aufgefangen wird. Die Elektronik berechnet aus der Lichtmenge, die gesendet wurde und der Lichtmenge, die reflektiert wurde, wie hoch der Reflektionsgehalt der Pflanze ist.

Hellgrüne Pflanzen reflektieren dabei weniger nahinfrarotes Licht als dunkelgrüne. Bei rotem Licht ist es genau umgekehrt. Aus diesen beiden Informationen kann man auf den



Die eigene Lichtquelle hat zwei Vorteile:

1. Sie kann bei unterschiedlichen Lichtbedingungen exakt gemessen werden.
2. Sie kann genau das Licht aussenden, das für die Messung wichtig ist, d. h. rötliches Licht.



Messen und Regeln – nach diesem Prinzip funktioniert die Ausbringung des Düngers. Gemessen wird vorn am Traktor, gedüngt dann hinten.

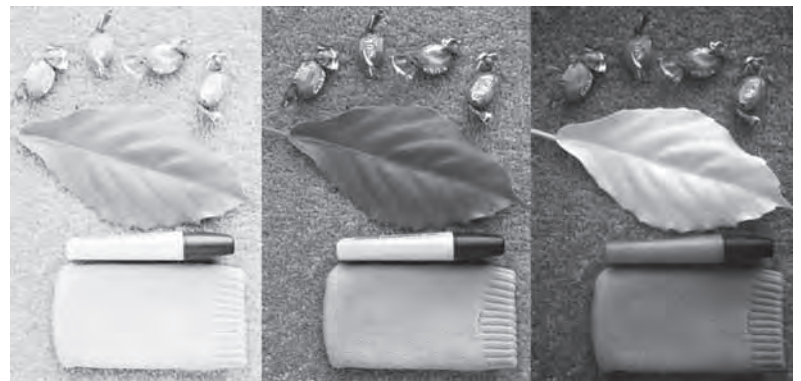
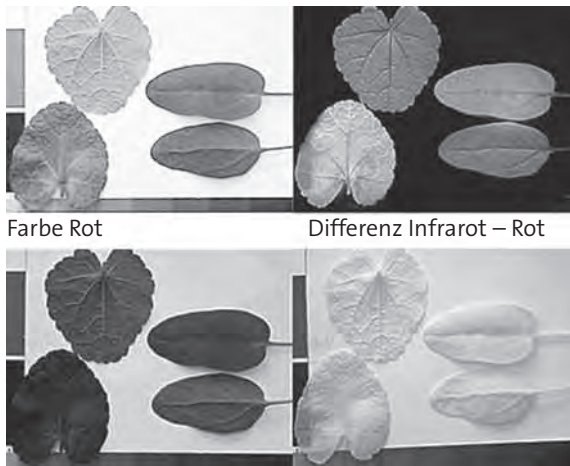


Bild: Vergleich von pflanzlichen und nicht pflanzlichen Grüntönen in Farb-, Graustufen- und Infrarotansicht (von links nach rechts)



Rot (625–695 nm) Infrarot  
 Bildet man die Differenz von einer Aufnahme im roten und nahinfraroten Licht, kann man die Grüntöne von Pflanzen noch besser unterscheiden

Stickstoffgehalt schließen: Hellgrüne Blätter deuten auf einen Stickstoffmangel hin, wohingegen dunkel-blaugrüne Blätter auf einen Stickstoffüberschuss hinweisen.

Der Sensor kann ziemlich genau unterschiedliche Grüntöne unterscheiden. Bildet man die Differenz von einer Aufnahme im roten und

nahinfraroten Licht, kann man die Grüntöne von Pflanzen noch besser unterscheiden. Der Hintergrund verschwindet gänzlich. So kann man nicht nur den Stickstoffgehalt einer Pflanze bestimmen, sondern auch die Bestandsdichte der Pflanzen messen.

Die Messwerte werden mit Vergleichswerten abgeglichen und steuern dann den Düngestreuer, damit es nicht zu einer Über- oder Unterversorgung an Stickstoff kommt. Kombiniert man das Wissen der Erträge der letzten Jahre des entsprechenden Quadratmeters mit den online gemessenen Werten, kann so die Düngung noch weiter optimiert und auf den jeweiligen Quadratmeter zugeschnitten werden. So ist die Pflege und ständige Anpassung der Applikationskarte eine wichtige Aufgabe nach jedem Erntejahr. Precision Farming umfasst aber nicht nur das quadratmetergenaue Düngen. Auch die genaue Aussaat und Bodenbearbeitung spielen eine wichtige Rolle. Nur so kann umweltschonend der Schlag optimal bewirtschaftet werden.

### Arbeitsaufträge

1. Verwende ein Smartphone mit GPS oder leihe dir ein GPS-Gerät aus. Vermiss das Schulgelände und vergleiche die gemessenen Daten mit den Daten aus Google-Maps oder Bing. Wie genau bekommt man die Messung hin?
2. GPS ist in der heutigen Landtechnik nicht mehr wegzudenken.
  - a. Überlege: Wie könnte man die Genauigkeit des klassischen GPS verbessern? Wie würdest du es machen?
  - b. Erkundige dich nach den Verfahren zur genaueren Ortsbestimmung wie EGNOS oder DGPS. Erstelle dazu eine kleine Präsentation. Versuche die Präsentation so zu gestalten, dass Schüler der Klasse 5 das Prinzip verstehen würden.
3. Die starken Erschütterungen während einer Fahrt auf dem Feld beeinflussen das Messergebnis der Wiegetechnik nicht. Warum nicht?
4. Wie findet man heraus, wie die Verteilung von Dünger über die Streutechnik wirklich ist?
5. Wie kann man geometrisch nachweisen, dass das Feld gleichmäßig viel Dünger erhalten hat?
6. Zusatzaufgabe für ein Technikersystem wie Lego Mindstorm®, qfix® oder MecLab® (wenn es an deiner Schule gibt): Versuche mithilfe optischer Sensoren, verschiedene Farben zu unterscheiden.
- c. Wie könnte man dieses Wissen bei der Vermessung des Schulgeländes verwenden?

## Aufgaben Seite 27

### Aufgabe 1

Siehe Text

### Aufgabe 2

Gleich:

- große Räder hinten, kleinere vorne
- Motor direkt zugänglich
- genereller Aufbau

Verändert:

- Reifenproportionen
- Anschlüsse

### Aufgabe 3

Ein Kettenantrieb vervielfacht die Aufstandsfläche und reduziert dadurch den Druck auf den Boden.

### Aufgabe 4

Mit  $p = F/A$  und dem Ortsfaktor  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ergibt sich für das Pferd:

$$p = (700 \cdot 9,81 \text{ kg m/s}^2) / (4 \cdot 0,0015 \text{ m}^2) = 1.144.500 \text{ Pa} = 11,45 \text{ bar}$$

Für den Traktor:

$$p = (2.200 \cdot 9,81 \text{ kg m/s}^2) / (4 \cdot 0,15 \text{ m}^2) = 35.970 \text{ Pa} = 0,36 \text{ bar}$$

Pferde üben einen ca. 30-fach größeren Druck auf den betretenen Boden aus.

### Aufgabe 5

Halbiert man den Druck, verdoppelt sich die Aufstandsfläche.

Für einen solchen Traktor erhält man dann:

$$p = (2200 \cdot 9,81 \text{ kg m/s}^2) / (4 \cdot 0,3 \text{ m}^2) = 17.985 \text{ Pa} = 0,18 \text{ bar}$$

Für die gesuchte Traktoranzahl gilt dann:  $x = 11,45 \text{ bar} / 0,18 \text{ bar} = \text{ca. } 60$

Man müsste 60 Traktoren aufeinander stapeln.

Bemerkung: Die Regel ist sehr grob und der tatsächliche Druck hängt auch von Profil und Reifentyp ab. Genauso ist zu bedenken, dass ein Traktor diesen Druck über die gesamte Aufstandsfläche auf den Boden ausübt, ein Pferd seinen Druck aber nur auf einer wesentlich geringeren.

### Aufgabe 6

90 kW entsprechen ca. 122 Pferden. In einem Doppelgespann müssten 61 Pferde hintereinander den Pflug ziehen. Zwei Pferde stehen ca. 2,5 m voneinander entfernt. Ein solches Pferdegespann hätte eine theoretische Länge von ca. 150 m.

Im Alltag erweist sich diese Länge als problematisch, da viele Felder diese Länge nicht deutlich überschreiten. Auch die „Wendemanöver“ wären schwierig.

### Aufgabe 7

Abgase sollen möglichst weit weg vom Boden ausgestoßen werden, um diesen kaum zu belasten.

### Aufgabe 8

Die kleinen Räder haben eine geringe Aufstandsfläche. Dadurch ist die Reibung beim Lenken viel geringer und man kann leichter lenken. Zudem haben sie einen größeren Abstand zum Motorblock des Traktors. Man kann die Vorderräder dadurch stärker einschlagen und so auf kleinerem Raum wenden, was auf dem Acker von Vorteil ist.

Moderne Traktoren besitzen inzwischen Allradantrieb, Servolenkung und Knicklenkung, hier sind die kleineren Vorderräder nicht mehr so ausgeprägt.

### Aufgabe 9

Auf dem Acker und auf der Straße wird über lange Zeit mit gleicher Geschwindigkeit gearbeitet, das ermüdet den Fuß. Zudem übertragen sich Erschütterungen auf dem Feld auf den Fuß und

somit führt eine Fußgasregelung auf unebenem Gelände immer zu unruhigen Fahrten. Die Fixierung des Handgashebels sorgt für eine ruhigere und gleichmäßigere Fahrt.

### Aufgabe 10

Relevant sind vor allem die Punkte:

- hohes Drehmoment (hohe Leistung bei geringer Drehzahl)
- geringer Verbrauch
- Langlebigkeit

## Aufgaben Seite 32

### Aufgabe 1

Die Messgenauigkeit liegt im Prinzip bei 10 m. Mehrere Messungen können aber die Genauigkeit auf rund 5 m verbessern.

### Aufgaben 2a und 2b

Individuelle Lösungen

### Aufgabe 2c

Man bestimmt einen Referenzpunkt auf dem Schulgelände und bringt seine exakte Position in Erfahrung (genaue Landkarten).

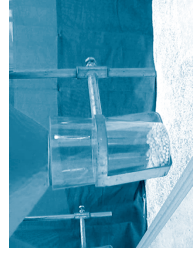
Zwei Schülerinnen oder Schüler mit einem gleichen GPS-Empfänger stellen sich auf den neu zu vermessenden Punkt und auf den Referenzpunkt. Beide notieren ihre Daten zum gleichen Zeitpunkt. Die Änderung am Referenzpunkt gegenüber dem Soll-Wert überträgt man auf den Messpunkt.

### Aufgabe 3

Der Messwert wird 100-mal in einer Sekunde von zwei Sensoren aufgenommen. Man bildet die Summe und die Differenz der Messwerte. Eine Erschütterung liefert eine Differenz ungleich Null. Verwendet man nur Messwerte, bei denen die Differenz minimal ist, erhält man einen verbesserten Mittelwert, und somit einen genaueren Gewichtsverlust.

### Aufgabe 4

Wie bei Niederschlagsmessungen wird ein Bereich in kleinere Quadrate unterteilt. Man fährt mit einem Streuer über diesen Bereich und misst anschließend, wie viel Granulat pro Einheit gemessen wurde.



### Aufgabe 5

Über die Messungen (siehe Aufgabe 4) kennt man die Verteilung von Granulat senkrecht zur Fahrstrecke (siehe Grafik im Text). Teilt man die einzelnen Fahrten in Dreiecke auf, kann man die Dreiecke so verschieben, dass sich jeweils Rechtecke ergeben, was einer gleichmäßigen Düngung entspricht.